

## BREVET D'INVENTION

P.V. n° 75.191

Classification internationale :



N° 1.536.190

C 22 d

**Procédé de préparation d'acier au four électrique.** (Invention : Jaroslaw George SIBAKIN, Gordon Alan ROEDER et Paul Henry HEATHCOTE HOOKINGS.)

Sociétés dite : METALLGESELLSCHAFT AKTIENGESELLSCHAFT, THE STEEL COMPANY OF CANADA LIMITED, PICKANDS MATHER & CO. résidant : la 1<sup>re</sup> en République Fédérale d'Allemagne; la 2<sup>e</sup> au Canada; la 3<sup>e</sup> aux États-Unis d'Amérique.

**Demandé le 2 septembre 1966, à 16<sup>h</sup> 43<sup>m</sup>, à Paris.**

Délivré par arrêté du 8 juillet 1968.

(Bulletin officiel de la Propriété industrielle, n° 33 du 27 août 1968.)

(2 demandes de brevets déposées au Canada les 13 septembre 1965, sous le n° 939.792, et 16 juillet 1966, sous le n° 965.617, aux noms de MM. Jaroslaw George SIBAKIN, Gordon Alan ROEDER et Paul Henry HEATHCOTE HOOKINGS.)

L'invention concerne un procédé de préparation d'acier à 0,02 à 1,8 % de teneur en carbone, au four à arc électrique, à partir de matières contenant du fer métallique, procédé dans lequel on prépare en premier lieu dans le four un bain métallique avec une couche de laitier dans laquelle on envoie une matière ferreuse solide en petits morceaux.

On exploite les fours à arcs électriques connus à partir de matières solides ferreuses tels que des riblons en envoyant en premier dans le four une charge de riblons, en mettant cette charge en fusion et en préparant ainsi un bain métallique auquel sont ajoutés deux à six autres charges de riblons pour l'obtention du poids voulu de bain métallique. Avant chaque enfournement, le courant doit être arrêté, les électrodes chaudes doivent être relevées et le couvercle doit être enlevé. Ensuite, la charge doit être amenée au-dessus du four, par exemple à l'aide d'une benne, et être déchargée dans ce dernier. La durée de chaque enfournement est d'environ 4 à 7 minutes dans les fours modernes dans lesquels les pertes de chaleur par rayonnement sont considérables.

Le courant électrique passe par la première électrode, par l'arc produit entre la pointe de cette électrode et la charge ou le bain métallique, par cette charge ou ce bain métallique et ensuite par l'électrode opposée. Les arcs électriques ont, sur ce circuit, une résistance variable qui peut être réglée à la valeur désirée par une modification de la distance séparant les électrodes, de manière que l'absorption d'énergie et la tension puissent également avoir les valeurs désirées. Au cours de la mise en

fusion de la charge par les électrodes, il arrive fréquemment que des riblons entrent en contact avec celles-ci et provoquent des courts-circuits dans les arcs, c'est-à-dire que l'une ou plusieurs des trois phases du circuit secondaire du transformateur sont court-circuitées. Ces interruptions ne durent normalement que quelques secondes, mais des interruptions atteignant 30 secondes peuvent également être produites lorsque les électrodes sont court-circuitées en un emplacement élevé. Elles doivent alors être ressorties de la cavité de fusion jusqu'au-dessus de cet emplacement du court-circuit. Pendant ce temps, le courant est interrompu.

Le dégagement le plus fort de chaleur a lieu aux emplacements de contact entre électrodes et arcs et entre le métal et les arcs. Les zones du dégagement le plus fort de chaleur, désignées par la suite « zones chaudes des arcs » s'étendent normalement à partir du côté de la pointe de l'électrode opposé au centre du four, obliquement en direction du bas et de la paroi du four, vers le bain de métal. Le transfert de chaleur dépend principalement de l'arrivée de matières froides dans la zone chaude des arcs et décroît avec l'accroissement de la température moyenne. A la fin de la mise en fusion de la charge, le dégagement de chaleur doit être réduit dans ces zones chaudes pour épargner le revêtement du four.

Le procédé comprend cinq étapes : mise en fusion des riblons, affinage au cours duquel les impuretés sont éliminées et les composants d'alliage, ainsi que les agents de desoxydation sont ajoutés, coulée, réparation du four et chargement. Parmi ces étapes, celle de l'affinage peut être de durée la plus variable, car celle-ci dépend de la composition du bain métal-

lique qui ne peut pas être déterminée à l'avance avec une exactitude suffisante pour des riblons de compositions variables et inconnues. Ainsi, par exemple, la teneur en soufre et en phosphore est souvent trop élevée. Dans ces cas, on doit mettre en œuvre le procédé dit à deux laitiers, c'est-à-dire qu'on doit couper le courant, relever les électrodes, soutirer le laitier et produire un second laitier par addition de chaux, de coke, de spath fluor et de sable. Cette opération peut durer 20 à 60 minutes. La teneur en carbone peut aussi être fréquemment trop élevée ou trop basse et doit être rectifiée, ce qui provoque une perte de temps supplémentaire.

Par ailleurs, avant la coulée, la température du bain doit être réglée dans des limites étroites, notamment pour la coulée continue.

On a également déjà essayé de mettre en fusion des riblons avec de l'éponge de fer, mais en général, ces essais n'ont pas donné satisfaction car les durées de fusion et la consommation de courant ont été trop élevées. Par suite de leur teneur en gangue et de leur grosseur faible et régulière, les particules et, notamment, les boulettes d'éponge de fer tendent à s'agglutiner et à s'agglomérer sous l'effet de la chaleur du four et elles forment des poches imperméables et difficilement fusibles.

Dans certains procédés de réduction directe, une proportion importante de l'éponge de fer est obtenue en particules de grosseur inférieure à 4,8 mm et dans d'autres procédés, l'ensemble de la décharge est obtenu en particules encore plus fines. Lorsqu'on a enfourné cette matière, il s'est formé des couches fortement cohérentes de densité élevée, en particulier si cette matière constituait plus de 20 % de la charge du four. Ces couches ont formé dans le four des barrières qui ont empêché le passage du métal en fusion et du laitier. Ainsi a été provoqué un processus inverse de fusion, c'est-à-dire que la charge a fondu de haut en bas et les arcs ont endommagé le couvercle et la partie supérieure du revêtement du four. En outre, il n'a été possible de mettre en fusion ces couches que par une consommation sensiblement accrue de courant et le temps nécessaire était également plus grand. De plus, des pertes de métal ont été produites, car les particules fines sont restées en partie dans le laitier.

On a éliminé ces inconvénients en mettant l'éponge de fer sous forme de briquettes qui ont ensuite pu être mises en fusion sans difficulté. Cependant, cette mise en briquette est très coûteuse.

On connaît également un procédé dans lequel des sortes de fer en grains fins, tels que des lopins, de la grenaille ou autre sont mis en fusion dans des fours à arc électrique et sont ensuite affinés. L'enfournement est effectué en discontinu à travers le couvercle du four en quantités réglées de manière à

éviter toute solidification du bain déjà fondu (brevet allemand n° 954.699). L'addition en discontinu de la manière a cependant pour conséquence des durées prolongées de mise en fusion, car après chaque addition de matière, on doit attendre la fusion de celle-ci et l'établissement de la température convenable du bain dans la zone d'enfournement.

Suivant un autre procédé connu, les arcs sont recouverts d'éponge de fer et plongent dans celle-ci (brevet des États-Unis d'Amérique n° 3.153.588). Ce mode opératoire provoque cependant la formation déjà décrite de poches d'éponge de fer qui sont difficilement fusibles et qui produisent des courts-circuits.

L'invention a pour objet un procédé de préparation d'acier dans un four à arc électrique permettant d'éviter les inconvénients connus, c'est-à-dire d'abréger les durées opératoires, de réduire les courts-circuits, d'épargner le revêtement du four et le couvercle, et plus particulièrement, d'obtenir ces avantages par l'utilisation d'éponge de fer.

Selon une particularité essentielle de l'invention, une matière ferreuse en petits morceaux, de préférence de l'éponge de fer, est enfournée en continu dans la couche de laitier se trouvant sur le bain de métal du four à arcs électriques et la quantité ajoutée de cette matière par unité de temps est réglée en fonction de l'absorption d'énergie électrique du four, de manière que la masse métallique en fusion ait sensiblement la température nécessaire de coulée et la teneur voulue en carbone à la fin de l'enfournement de ladite matière ferreuse.

On a observé, par exemple, que pour un four de 25 tonnes ayant une consommation de puissance de 7,4 megawatts, la chute de la température du bain est de 3,34 °C par minute pour une addition de 318 kg de boulettes d'éponge de fer par minute, tandis que pour une addition de 227 kg de boulettes par minute, la température du bain monte de 4,16 °C par minute.

La teneur en carbone de la charge (c'est-à-dire de la charge avant le début de la fusion) du four est réglée de préférence de manière que la teneur en oxyde de la matière ferreuse entre entièrement en réaction et que la teneur voulue en carbone soit obtenue dans l'acier élaboré. La réaction du carbone avec l'oxygène présent dans le bain provoque une très forte ébullition de celui-ci, de sorte que la fusion de la matière ferreuse en petits morceaux, notamment de l'éponge de fer, se trouvant dans la couche de laitier et que le transfert de chaleur au métal en fusion sont fortement améliorés et, en outre, l'affinage est accéléré.

La matière ferreuse en petits morceaux est enfournée de préférence à proximité des zones chaudes des arcs, dans l'espace compris entre les électrodes et la paroi du four.

En maintenant une mince couche de laitier de faible viscosité réglable — notamment dans le cas d'un enfournement d'éponge de fer — il est possible d'enfourner la matière ferreuse en très petits morceaux dans les zones chaudes des arcs, cette matière plongeant dans la couche de laitier, fondant rapidement, étant brassée dans la couche de laitier et tombant dans le bain de métal sous l'effet de la gravité. Le contrôle de la viscosité du laitier est très important, car un laitier fortement visqueux empêche la pénétration de l'éponge de fer et ralentit la fusion et la traversée de l'éponge de fer fondue. Si le laitier est fortement visqueux, l'éponge de fer risque fortement de s'agglomérer sur la couche de laitier. La basicité des laitiers satisfaisant aux conditions voulues est comprise entre 1,0 et 1,5. Une faible basicité réduit la viscosité du laitier et est en outre, la cause d'une mauvaise conductivité, de sorte que les arcs parcourent le laitier suivant des trajets déterminés. L'absorption d'énergie peut être ainsi accrue et le risque d'une surchauffe des parois du four peut même être réduit.

Le tableau suivant donne les limites de la composition de tels laitiers et indique en outre la composition d'un exemple caractéristique de laitier à la fin de la période de mise en fusion, la basicité de ce laitier (rapport des « bases » aux « acides ») étant de 1 : 1.

	Limites en poids	Laitier après la fusion en poids
	%	%
SiO <sub>2</sub> .....	2 - 40	32,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0 - 20	6,28
CaO.....	1 - 50	17,40
MgO.....	0 - 25	23,84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0 - 2	0,09
FeO.....	3 - 40	14,64
Autres.....	- - -	4,91

La quantité de laitier est de 45 à 57 kg/t d'acier produit. Dans la préparation d'acier uniquement à l'aide de riblons, cette quantité, qui est d'environ 68 kg/t est sensiblement plus élevée.

L'épaisseur de la couche de laitier est maintenue à environ 5 à 7,6 cm pour assurer la pénétration des boulettes d'éponge de fer introduites en continu.

La matière ferreuse en petits morceaux utilisée contient de préférence 76 à 99,5 % en poids total de fer et 0,1 à 1,75 % en poids, de préférence 0,1 à 1,15 % en poids d'oxygène lié sous forme d'oxyde.

L'addition de matière ferreuse en petits morceaux peut constituer jusqu'à 80 % de la masse fondue totale du four et la consommation d'énergie est de 250 à 700 kwh/t de matière ferreuse.

La matière ferreuse en petits morceaux peut contenir du carbone.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, de la fonte de fer produite au four tubulaire tournant est utilisée comme matière ferreuse en petits morceaux et est enfournée à chaud.

Par ailleurs, il est également possible, dans le cadre de l'invention, d'utiliser de la matière ferreuse en petits morceaux contenant du TiO<sub>2</sub>.

La mise en œuvre d'une matière dont 30 % au moins était constituée de particules de dimension inférieure à 4,8 mm a donné de bons résultats. On a également obtenu de bons résultats avec une matière dont les particules étaient de dimension inférieure à 1,6 mm.

Le bain de métal peut être réalisé à partir d'une charge de riblons, de fondants, d'éléments d'alliage et de carbone qui ont été mis en fusion, mais il peut également contenir en partie de la matière ferreuse en petits morceaux qui a été enfournée avec la charge initiale.

Si nécessaire, le bain métallique affiné peut être amené à la teneur voulue en carbone par addition de coke avant la coulée.

D'autres objets et avantages de l'invention seront mieux compris à l'aide de la description détaillée qui va suivre et des dessins sur lesquels :

La figure 1 est une vue en perspective schématique d'un four à arc électrique triphasé du type utilisé pour la mise en œuvre du procédé de l'invention;

La figure 2 est une coupe transversale du four de la figure 1 et montre la formation des cavités de fusion qui se sont réunies en une chambre de fusion de section approximativement triangulaire;

La figure 3 est une coupe axiale partielle à échelle agrandie selon la ligne 3-3 de la figure 2 et montre l'enfournement de fonte de fer à proximité de l'électrode;

La figure 4 est une vue en élévation schématique avec coupe partielle montrant un système d'enfournement pour l'addition continue d'éponge de fer;

La figure 5 est un schéma synoptique de la préparation d'acier conformément à l'invention;

Les figures 6a et 6b sont des graphiques du poids de la matière enfournée et de l'absorption de puissance en fonction de la durée de traitement des périodes de mise en fusion et d'affinage des procédés connus dans lesquels on utilise des riblons.

Les figures 7a et 7b sont des graphiques analogues à ceux des figures 6a et 6b pour le procédé de l'invention dans lequel de l'éponge de fer est enfournée en continu; et

La figure 8 est un graphique montrant l'influence

de la teneur résiduelle en oxygène de l'éponge de fer chargée sur la capacité de production du four.

Le four 10 comporte une enveloppe cylindrique 12 et un couvercle amovible 14 qui est fixé au mât par des bras 16. Les bras 16 peuvent être élevés ou abaissés par un système hydraulique ou mécanique qui se trouve dans le mât 18. Les électrodes 24, 26, 28 sont fixées au moyen de bras 32, 34 et 36 à des mâts 29, 30, 31 et peuvent être élevés ou abaissés indépendamment les uns des autres à travers les ouvertures ménagées dans le couvercle 14. Les mâts 18, 29, 30 et 31 sont fixés à une plateforme 20 qui est orientable autour d'un axe sur des roues 22 de manière que le couvercle 14 et les électrodes puissent être déplacés vers un côté du four et que le four puisse être chargé de riblons ou autres. Entre les ouvertures des électrodes 24, 26, 28 et l'enveloppe 12, le couvercle 14 comporte des ouvertures d'enfournement sur lesquelles sont fixés des tubes d'enfournement 48, 50 et 52. Ces tubes comportent à leur extrémité supérieure des manchons 46 auxquels sont raccordés trois tubes d'amenée 40, 42 et 44 par des pièces télescopiques d'allongement 41, 43 et 45. Les tubes d'amenée 40, 42, 44 sont raccordés à un dispositif de distribution 56 qui permet un réglage individuel de la quantité de matière envoyée dans chacun de ces tubes. Des vérins mécaniques pneumatiques ou hydrauliques permettent un allongement ou un raccourcissement des pièces 41, 43, 45. Le dispositif de distribution 56 est alimenté en continu à partir d'un silo 53 au moyen d'un dispositif de dosage 51 et d'un élévateur à godets 49.

Pour le chargement du four 10, le couvercle 14 et les électrodes 24, 26, 28 sont soulevées et sont déplacées vers le côté. Le four 10 est alors chargé de riblons de fer et/ou d'acier et, si nécessaire, de fondants, d'éléments d'alliage et d'agents de carburation, puis le couvercle 10 est remis en place. Il est également possible d'ajouter de l'éponge de fer au premier chargement.

Les électrodes 24, 26, 28 sont abaissées jusqu'à proximité de la surface du chargement et une tension prédéterminée est appliquée à chaque électrode de manière que des arcs électriques soient produits entre les électrodes et le chargement. Les riblons situés à proximité des arcs sont chauffés et fondus. La distance séparant les électrodes et les riblons est maintenue à des valeurs optimales par abaissement des électrodes pendant l'opération de mise en fusion. La commande est assurée par un système électrique de contrôle qui assure un dégagement maximum de chaleur en maintenant les arcs allumés ou, si nécessaire, en les rétablissant. Ainsi, les électrodes sont guidées à travers le chargement indépendamment les unes des autres de manière que la charge du four soit fondue autour des électrodes et que des cavités de fusion 60 comprenant au fond

un bain métallique 61 et une couche 70 de laitier soient formées. Les bains métalliques individuels se réunissent pour ne former qu'un seul bain ayant une forme de trèfle à trois feuilles situé au milieu du four. Le bain métallique est entouré sur sa périphérie d'une paroi 71 de charge non fondue qui protège le revêtement du four.

En ce moment de la marche du four intervient l'addition en continu d'éponge de fer 73 au bain métallique, de préférence dans et à proximité des zones des arcs.

Les exemples suivants de mise en œuvre du procédé de l'invention sont donnés à titre explicatif et nullement limitatifs.

Dans ces exemples de réalisation, on a utilisé des fours électriques à trois phases ayant une contenance de 15 et de 25 tonnes et alimentés par un transformateur de 8 000 kVA.

Le remplissage (charge avant la mise en route) a été effectué à l'aide d'éponge de fer et de riblons d'acier.

Le tableau suivant donne la composition chimique en % en poids des boulettes d'éponge de fer utilisées.

*(Voir tableau, page suivante)*

Les riblons étaient constitués d'environ 65 % de matière mélangée, non traitée préalablement et d'environ 35 % de matière lourde à l'état fondu.

Le carbone a été ajouté à la charge sous forme de coke de pétrole (en raison de son faible prix).

La charge a été partiellement mise en fusion dans le four à l'aide d'une énergie de 6,8 mégawatts qui a été tirée du réseau. Ensuite, les boulettes d'éponge de fer ont été ajoutées de façon continue en quantités réglées. Au départ, les quantités d'enfournement ont été de 136 à 227 kg/mn. Au cours de l'accroissement du temps de fusion, les quantités d'enfournement ont été modifiées, de manière que les boulettes fondent immédiatement dès qu'elles entrent en contact avec le laitier et pénètrent dans celui-ci. Lorsqu'il s'est formé des agglomérations de boulettes sur le laitier, le chargement a été légèrement ralenti de manière que les agglomérations soient dissoutes et que la température du bain soit à nouveau atteinte. Après addition d'environ 910 kg de boulettes d'éponge de fer, le réglage des transformateurs a été modifié de manière que les arcs produits soient raccourcis, l'absorption de puissance ne tombant que faiblement.

L'addition en continu de boulettes est poursuivie dans les mêmes conditions, le débit variant en fonction de la température, du bain. Lorsque la température de 1 620 à 1 650 °C, nécessaire à une coulée continue, a été atteinte, l'addition de boulettes de fonte de fer est terminée.

Pendant la période de mise en fusion, des échan-

	A	B	C	D	E	F	G
Fe total.....	92,80	87,70	78,70	90,85	97,09	94,59	89,3
Fe métallique.....	89,94	82,54	72,73	90,20	94,11	91,35	83,2
Fe sous forme d'oxydes.....	3,68	5,17	7,68	—	3,83	3,24	7,86
Oxygène dans Fe sous forme d'oxydes.....	0,82	1,15	1,71	0,10	0,85	0,72	1,75
C.....	0,098	0,409	0,125	0,15	0,194	0,42	0,19
Gangue.....	—	—	—	—	—	—	—
S.....	0,008	0,051	0,014	0,008	0,029	0,010	0,042
P.....	—	—	0,046	—	—	—	—
Ti.....	—	—	10,9	—	—	—	—
CaO.....	0,32	1,35	0,7	0,60	0,20	0,76	0,20
MgO.....	1,47	2,52	0,7	2,40	0,58	0,64	0,66
SiO <sub>2</sub> .....	3,88	4,84	1,2	2,04	0,50	1,86	3,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,60	1,87	5,4	0,96	0,56	1,00	0,17
Autre Gangue.....	—	0,10	0,5	—	—	—	4,60
Métallisation en %.....	96,9	84,1	92,4	99,28	97,0	96,6	94,3

Métallisation en % =  $\frac{\% \text{ de Fe métallique} \cdot 100}{\% \text{ de Fe total}}$

tillons du métal en fusion sont prélevés et analysés. à l'aide de ces analyses, la chute de la teneur en carbone est contrôlée et réglée de manière que lorsque la température de coulée est atteinte, cette teneur ait la valeur voulue. Un dernier échantillon est prélevé lorsque l'addition de boulettes de fonte de fer est terminée.

Aucune période d'affinage n'est nécessaire, de sorte que la coulée peut être effectuée dès que la

composition du dernier échantillon est connue. Etant donné que la matière utilisée n'offre normalement aucune difficulté quant à la teneur en soufre ou en phosphore, il est possible d'opérer sans addition de chaux et sans élimination le laitier de fusion devant être remplacé par un second laitier.

On a produit des aciers de composition indiquée dans le tableau suivant, la production d'aciers à béton de résistance moyenne étant prépondérante.

Qualité d'acier	C	Si	Mn	S	P (% en poids dans l'acier)
Constituants d'alliage qualité à 0,32 % de C.....	0,30-0,34	0,15-0,30	0,45-0,65	0,050 max.	0,050 max.
Constituants d'alliage à 0,28 % de C....	0,28-0,32	0,15-0,30	0,45-0,65	0,050 max.	0,050 max.
Aciers à béton qualité A 36.....	0,12-0,17	0,15-0,30	0,50-0,75	0,045 max.	0,040 max.

*Exemple de réalisation 1.* — La charge du four de 15 tonnes était constituée de 2 720 kg de riblons et de 5 620 kg de boulettes d'éponge de fer de la composition A indiquée plus haut ainsi que de 181 kg de coke de pétrole. Après mise en place des électrodes, le courant a été envoyé dans celles-ci pendant 24 minutes pour la formation d'un bain de métal sous les électrodes et ensuite des boulettes de fonte de fer de grosseurs comprises entre 4,8 et

16 mm ont été envoyées dans le four suivant un débit moyen de 181 kg/mn. 6 350 kg de boulettes ont été envoyés au total en continu dans le four, de sorte que 81,5 % du contenu métallique du four sont provenus de boulettes d'éponge de fer.

Les opérations ont été effectuées aux temps suivants :

Branchement du courant : 0 minute;

Début du chargement des boulettes : 24<sup>e</sup> minute;

[1.536.190]

Fin du chargement des boulettes : 69<sup>e</sup> minute;  
Coulée du bain : 84<sup>e</sup> minute.

La consommation d'énergie a été de 580 kwh/t d'acier produit.

Pour le traitement d'une charge d'après les procédés classiques uniquement à l'aide de riblons dans le même four, il a fallu 161 minutes et la consommation d'énergie a été de 640 kwh/t. L'économie de temps a donc été de 47,8 %.

*Exemple de réalisation 2.* — La charge du four de 25 tonnes a été de 4 530 kg de riblons d'acier, 9 100 kg d'éponge de fer sous forme de boulettes cassées de composition B indiquée dans le tableau donné plus haut et 195 kg de coke de pétrole. 32 minutes après le branchement du courant, on a ajouté en continu en moyenne 227 kg de boulettes cassées par minute jusqu'à ce que la quantité totale atteigne 11 300 kg, la grosseur des boulettes cassées étant inférieure à 4,8 mm. 82 % du contenu de métal du four sont provenus de boulettes de fer.

Les opérations ont été effectuées aux temps suivants :

Branchement du courant : 0 minute;

Début du chargement des boulettes cassées : 32<sup>e</sup> minute;

Fin du chargement des boulettes cassées : 99<sup>e</sup> minute;

Coulée : 138<sup>e</sup> minute.

La consommation d'énergie a été de 560 kwh/t d'acier produit.

La production du four a été de 10,6 tonnes d'acier par heure.

Dans le traitement uniquement de riblons dans le même four, celui-ci n'a fourni que 8,3 tonnes d'acier par heure pour une consommation d'énergie de 570 kwh/t.

La capacité de production du four a donc été accrue de 28 %.

*Exemple de réalisation 3.* — La charge du four de 15 tonnes a été de 6 200 kg de riblons, 2 220 kg de boulettes de fonte de fer de la composition C donnée dans le tableau indiqué plus haut à forte teneur en  $TiO_2$ , et de 181 kg de coke de pétrole. 26 minutes après le branchement du courant, 195 kg de boulettes ont été ajoutées par minute jusqu'à ce que la quantité totale atteigne 8 650 kg. 63,5 % du contenu métallique du four sont provenus de l'éponge de fer.

Les opérations ont été effectuées aux temps suivants :

Branchement du courant : 0 minute;

Début du chargement des boulettes : 26<sup>e</sup> minute;

Fin du chargement des boulettes : 71<sup>e</sup> minute;

Coulée : 95<sup>e</sup> minute.

La consommation d'énergie a été de 712 kwh/t d'acier produit. Cette consommation d'énergie est admissible si l'on tient compte que cette matière

contenait une proportion élevée de gangue de 19,5 % et que la teneur en oxygène de 1,71 % de l'éponge de fer était notablement supérieure à celle des limites préférées de 0,6 à 1,2 %.

Le traitement uniquement de riblons de composition semblable a nécessité 171 minutes et 652 kwh/t d'acier produit.

Cet exemple montre que contrairement à une opinion largement répandue, de l'éponge de fer contenant du titane peut être utilisée pour la production d'acier et qu'à partir de cette matière première, des fontes satisfaisantes ont pu être préparées d'après le procédé de l'invention, la consommation d'énergie restant dans des limites admissibles.

Dans les exemples de réalisation 1 à 3, le bain de métal a subi une ébullition forte et continue pendant l'addition des boulettes.

Cette ébullition a favorisé la transmission de chaleur et a facilité la pénétration des boulettes dans la couche de laitier, de sorte que la capacité d'absorption du bain a pu être accrue sans qu'il ne se forme d'agglomérations indésirables de matières non fondues sur le laitier.

*Exemple de réalisation 4.* — Cet exemple indique le mode opératoire conforme à l'invention avec des boulettes d'éponge de fer de la composition D donnée dans le tableau indiqué plus haut, la teneur en oxygène de ces boulettes étant faible et n'étant que de 0,1 %.

La charge du four de 25 tonnes a été de 3 600 kg de riblons, de 5 880 kg de boulettes et de 91 kg de coke. 27 minutes après le branchement du courant, les boulettes ont été ajoutées à raison de 181 kg/mn, de la même manière qu'elles ont été utilisées sans difficulté dans les exemples précédents. On a cependant observé que des agglomérations de boulettes non fondues se sont formées dans les cavités de fusion autour des électrodes.

L'addition des boulettes a dû être réduite à 150 kg/mn pour rétablir l'équilibre entre l'addition et la fusion. Du fait de l'utilisation de ces boulettes fortement métallisées, aucune ébullition du bain n'a eu lieu et la dissolution des boulettes dans le laitier a été retardée. Le manque d'ébullition et l'agglomération des boulettes ont provoqué dans le bain des courants tourbillonnaires irréguliers qui, de leur côté, ont provoqué à la surface du bain des ondes qui ont été la cause d'extinctions et de rallumages fréquents des arcs.

L'absorption totale d'énergie ayant été plus faible que d'habitude, l'addition des boulettes a dû être encore réduite pour permettre de maintenir l'accroissement nécessaire de température. La durée de fusion a été de 177 minutes et la consommation d'énergie, de 635 kwh/t d'acier produit. Ces valeurs sont comparables à celles des procédés connus.

D'après cet exemple 4 et dans une moindre mesure, d'après l'exemple 3, on remarque que la teneur en oxygène de l'éponge de fer doit être maintenue à une limite inférieure pour permettre un chargement satisfaisant en continu. Il est vraisemblable qu'une teneur trop élevée en oxygène de l'éponge de fer provoque un bouillonnement trop fort et une consommation trop élevée de carbone et nécessite une période supplémentaire de temps pour une recarburation pendant une période d'affinage.

Lorsque des boulettes fortement métallisées doivent être traitées par le procédé de l'invention, il est préférable de les enfourner avec des oxydes de fer tels que de la calamine ou des minerais oxydés de fer en grains fins pour compenser le manque d'oxygène des boulettes.

*Exemple de réalisation 5.* — La charge du four de 25 tonnes a été de 2630 kg de riblons, de 3860 kg de fonte et de 5030 kg de grenailles d'éponge de fer de la composition E donnée dans le tableau indiqué plus haut, la grosseur des grains de la grenaille étant pour 97 % de ceux-ci inférieure à 1,6 mm, 47 minutes après le branchement du courant, 198 kg de grenaille d'éponge de fer sont ajoutés en moyenne par minute. Pendant la durée du chargement, le laitier a formé une mousse qui a complètement enveloppé les arcs. Ce phénomène doit être attribué à la réduction des oxydes dans la couche de laitier (les particules en grains fins n'ont probablement pas pu traverser complètement la couche de laitier). De cette manière, l'effet désiré de l'isolation complète des arcs a été obtenu et la perte au feu du revêtement du four a pu être évitée.

Les opérations ont été effectuées aux temps suivants :

Branchement du courant : 0 minute ;

Début du chargement de la grenaille : 47<sup>e</sup> minute ;

Fin du chargement de la grenaille : 111<sup>e</sup> minute ;

Coulée : 139<sup>e</sup> minute.

La consommation d'énergie a été de 540 kwh/t d'acier produit contre 570 kwh/t dans le traitement uniquement de riblons.

L'abaissement de la consommation d'énergie doit être attribué à la formation de mousse dans le laitier d'où il résulte que les pertes de chaleur ont été réduites dans le bain de métal.

La capacité de production du four de 11,4 t/h a été de 38 % supérieure à celle du traitement de riblons qui est de 8,3 t/h.

*Exemple de réalisation 6.* — La charge du four de 25 tonnes a été de 6120 kg de riblons, 2120 de fonte et 6260 kg de boulettes de la composition F donnée dans le tableau indiqué plus haut. 24 minutes après le branchement du courant, 174 kg

de boulettes et de boulettes cassées ont été ajoutés en moyenne par minute en continu jusqu'à ce que la quantité totale de boulettes ajoutée atteigne 10400 kg. 70 % de ces boulettes avaient une grosseur comprise entre 4,8 et 16 mm et 30 % des boulettes cassées avaient une grosseur inférieure à 4,8 mm. 69 % du métal produit sont provenus de l'éponge de fer.

Les opérations ont été effectuées aux temps suivants :

Branchement du courant : 0 minute ;

Début du chargement de l'éponge de fer : 24<sup>e</sup> minute ;

Fin du chargement de l'éponge de fer : 69<sup>e</sup> minute ;

Coulée : 87<sup>e</sup> minute.

La consommation d'énergie a été de 555 kwh/t d'acier produit pour une absorption de puissance de 7,1 mégawatts. La capacité de production du four a été de 10,4 t/h et a été donc de 25,4 % supérieure à la production du four de 8,3 t/h pour une mise en œuvre uniquement de riblons. L'épaisseur de la couche de laitier mousseux a été d'environ 30 cm sur toute la surface du bain, l'éponge de fer ayant été ajoutée dans ce laitier qui a enveloppé les arcs.

Une série d'essais a montré que la consommation d'énergie peut être abaissée de 525 kwh/t.

Dans des fours plus grands, on peut obtenir une consommation d'énergie d'environ 350 kwh/t pour un enfournement de matière première froide ou une consommation de 250 kwh/t pour un enfournement de métal chaud ou par un chauffage préalable des constituants de la charge, alors que cette consommation est de 400 kwh/t dans le traitement uniquement de riblons. Par exemple, l'éponge de fer peut être préalablement chauffée en atmosphère neutre jusqu'à une température légèrement inférieure au point de fusion.

La figure 5 est un schéma synoptique d'un mode de réalisation du procédé de l'invention. Le four A est monté en série sur un ou plusieurs fours d'affinage B. Le four A est chargé de riblons et d'une matière contenant du carbone, par exemple de coke de pétrole, et il produit une matière fondue qui est envoyée dans le four B par exemple à l'aide de poches de coulée. Après la formation d'une couche de laitier sur le bain de métal du four B, de l'éponge de fer est ajoutée en continu.

Des éléments d'alliage et des fondants, par exemple du ferromanganèse, du ferrosilicium, de la chaux, etc., peuvent être ajoutés au bain. Les fours peuvent être exploités de manière que le métal terminé en fusion soit coulé en continu, la quantité de matière coulée correspondant à celle de la charge.

Le four peut également être monté en aval d'un four tubulaire tournant et l'éponge de fer produite dans ce dernier peut être chargée directement dans le four d'affinage.

Il est également possible de produire de la fonte grise par recarburation du bain de métal après la période de mise en fusion.

Les avantages de l'invention résident dans le fait que les fours ne doivent être chargés qu'une fois au début, de manière classique, tandis que le reste de la matière peut être enfournée en continu sous forme de boulettes d'éponge de fer dans les zones des arcs, la durée de la fusion pouvant être considérablement abaissée et la capacité de production des fours pouvant être accrue de plus de 25 % et même jusqu'à 60 %.

L'accroissement de la capacité de production du four de 25 tonnes est représentée sur la figure 8 en comparaison avec la production dans le traitement uniquement de riblons. Sur ce graphique ont été reportées les charges d'éponge de fer des compositions B, D, E, F et G précédemment mentionnées.

Un autre avantage réside dans le fait que les arcs sont stabilisés et que l'absorption d'énergie peut être accrue et plus régulière, comme montré sur les figures 6a, 6b et 7a, 7b et que la consommation d'énergie est diminuée.

Par ailleurs, l'addition d'éponge de fer entre la paroi du four et les électrodes assure une protection du revêtement du four contre les effets de la chaleur pendant la durée de chargement. En conséquence, on peut opérer avec une absorption d'énergie maximale pendant la durée du chargement.

L'enfournement d'éponge de fer en petits morceaux permet d'obtenir une formation contrôlée de mousse dans le laitier, de manière que les arcs soient enveloppés, que le transport de chaleur soit favorisé, que la consommation d'énergie soit réduite pour une absorption accrue d'énergie et que le revêtement du four soit protégé contre les dégâts provoqués par la chaleur.

La mise en œuvre d'éponge de fer peut atteindre au moins 80 % de la charge totale sans que des agglomérations de matière solide ne soient produites sur le laitier. Il est ainsi possible de traiter de manière sensiblement simplifiée des riblons d'acier contenant des quantités variables et inconnues d'impuretés pour obtenir de l'acier, car un pourcentage accru de matières de composition connue et régulière peut être ajouté sous forme d'éponge de fer.

La période d'affinage peut être pratiquement éliminée par la mise en œuvre d'éponge de fer, car la teneur en soufre et en phosphore du bain se trouve dans les limites de tolérance admises pour la plupart des aciers à la fin de la période de fusion.

L'addition contrôlée et continue d'éponge de fer à teneur en oxygène comprise entre 0,1 et 1,75 % de préférence entre 0,6 et 1,2 %, provoque une ébullition continue et très réactive du bain, de sorte que le carbone contenu dans le bain peut être éliminé de manière prédéterminée et contrôlée et que

le métal fondu peut avoir la teneur désirée en carbone. D'autres impuretés peuvent également être éliminées efficacement du métal fondu de cette manière.

La température de la masse en fusion peut être élevée de manière continue et contrôlée de façon qu'à la fin de l'enfournement, le bain ait atteint la température désirée.

#### RÉSUMÉ

L'invention a pour objet un procédé de production au four à arc électrique d'acier contenant 0,02 à 1,8 % de carbone, à partir de matière contenant du fer métallique, un bain de métal étant formé dans le four avec une couche de laitier et de la matière solide ferreuse en petits morceaux étant enfournée dans la couche de laitier, ledit procédé étant caractérisé par les points suivants, pris isolément ou en combinaisons diverses.

1° Ladite matière ferreuse en petits morceaux, de préférence de l'éponge de fer, est enfournée en continu dans la couche de laitier se trouvant sur le bain de métal et son addition est réglée par unité de temps en fonction de l'absorption de puissance électrique dans le four, de manière qu'à la fin de l'addition de ladite matière ferreuse en petits morceaux, la masse métallique en fusion ait sensiblement la température nécessaire de coulée et la teneur voulue en carbone.

2° La dite matière ferreuse en petits morceaux est enfournée à proximité des zones chaudes des arcs, dans l'espace compris entre les électrodes et la paroi du four.

3° La dite matière ferreuse en petits morceaux est enfournée dans les cavités de fusion formées autour des électrodes.

4° La dite matière ferreuse en petits morceaux a une teneur totale de fer comprise entre 76 et 99,5 % en poids et une teneur en oxygène lié sous forme d'oxyde de 0,1 à 1,75 % en poids, de préférence de 0,1 à 1,15 % en poids.

5° La dite matière ferreuse en petits morceaux contient du carbone.

6° La masse totale en fusion du four est constituée jusqu'à 80 % par la matière ferreuse qui a été enfournée en petits morceaux et la consommation d'énergie est de 250 à 700 kwh par tonne de matière ferreuse.

7° La dite matière ferreuse en petits morceaux est de l'éponge de fer produite au four tubulaire tournant et enfournée à l'état chaud.

8° La dite matière ferreuse en petits morceaux contient du  $TiO_2$ .

9° Au moins 30 % des petits morceaux de la dite matière ont une grosseur inférieure à 4,8 mm.

10° Les petits morceaux de la dite matière ferreuse ont une grosseur inférieure à 1,6 mm.



11° La charge de base mise en fusion pour constituer le bain de métal est constituée de riblons, de fondant, d'éléments d'alliage et de carbone.

12° La dite charge de base mise en fusion pour constituer le bain métallique est formée en partie de matière ferreuse en petits morceaux.

13° Le dit bain métallique de base contient plus de carbone que la masse métallique en fusion affinée.

14° La masse métallique en fusion affinée est carburée avant la coulée.

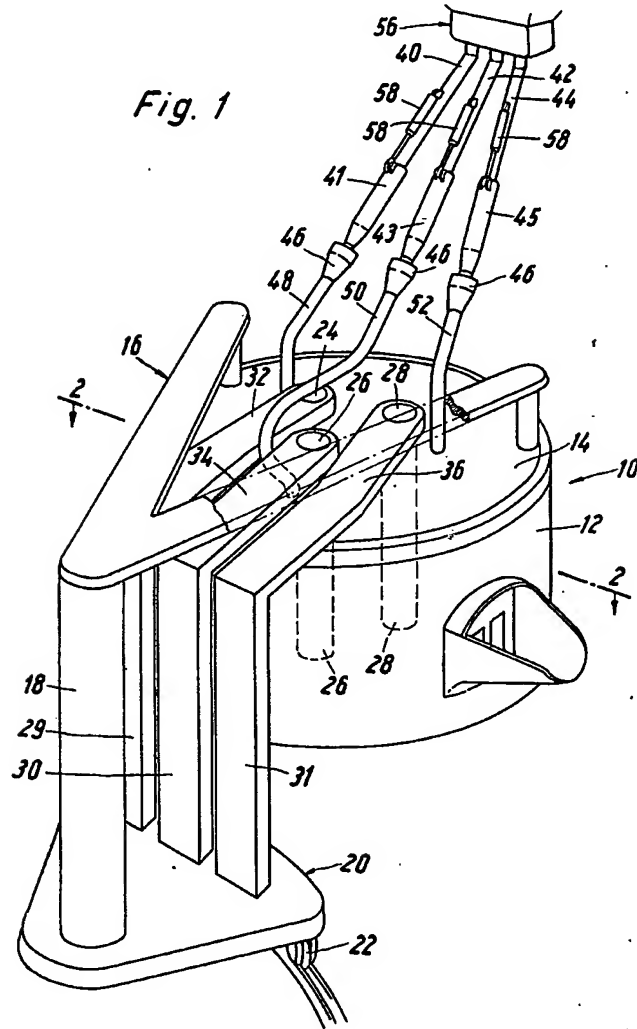
Sociétés dites :

METALLGESELLSCHAFT AKTIENGESELLSCHAFT,  
THE STEEL COMPANY OF CANADA LIMITED et  
PICKANDS MATHER & CO.

Par procuration :

G. BEAU DE LOMÉNIE, André ARMENCAUD, G. HOUSSARD,  
J.-F. BOISSEL & M. DE HAAS

Fig. 1



Metallgesellschaft Aktiengesellschaft,

The Steel Company of Canada Limited, Pickands Mather & Co.

Fig. 2

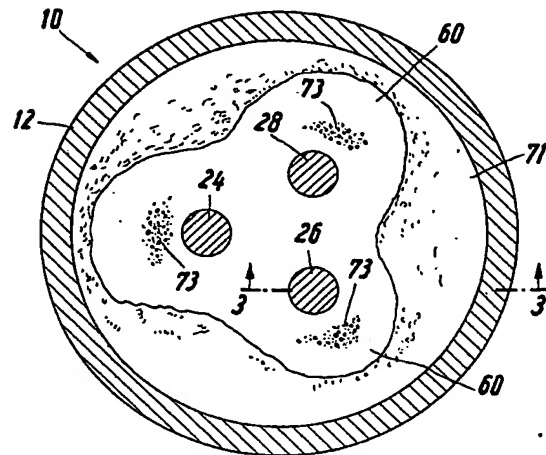
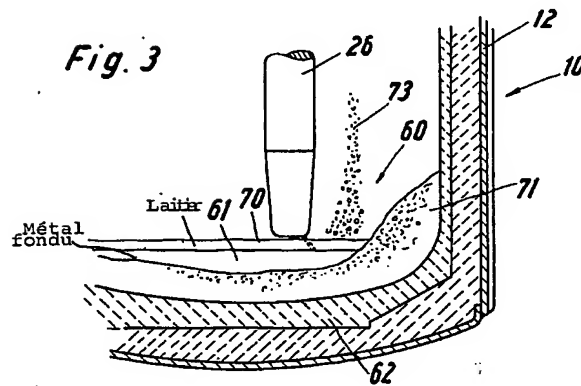


Fig. 3



Metallgesellschaft Aktiengesellschaft,

The Steel Company of Canada Limited, Pickands Mather &amp; Co.

Fig. 4

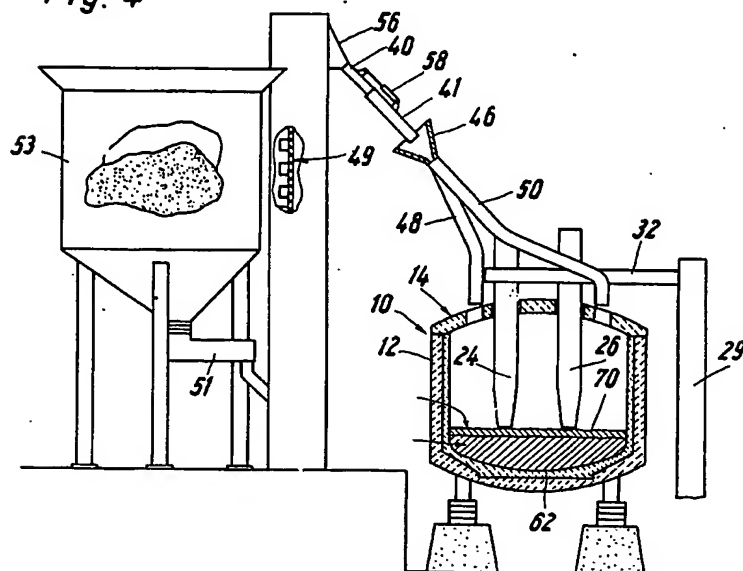
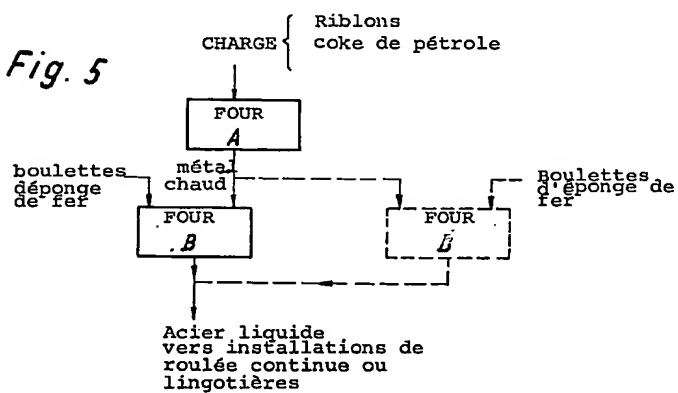


Fig. 5



Metallgesellschaft Aktiengesellschaft,

The Steel Company of Canada Limited, Pickands Mather &amp; Co.

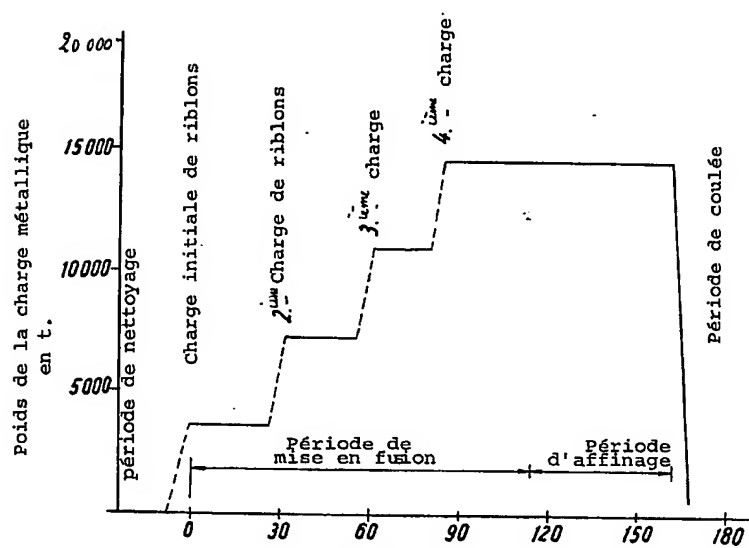


Fig. 6 a

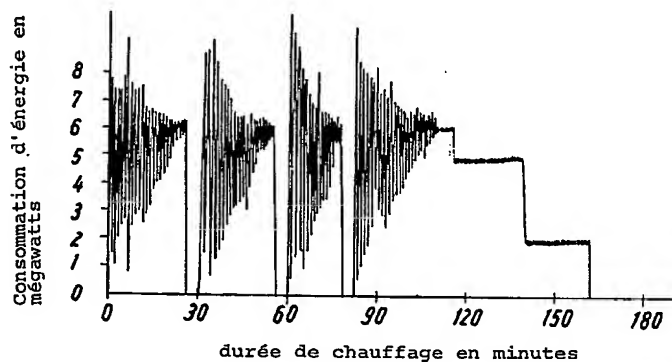


Fig. 6 b

Metallgesellschaft Aktiengesellschaft,

The Steel Company of Canada Limited, Pickands Mather &amp; Co.

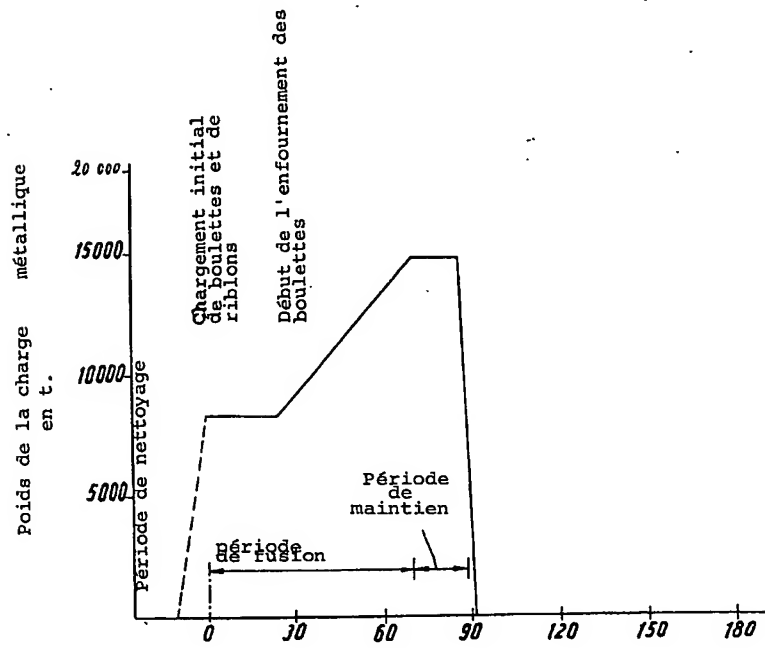


Fig. 7a

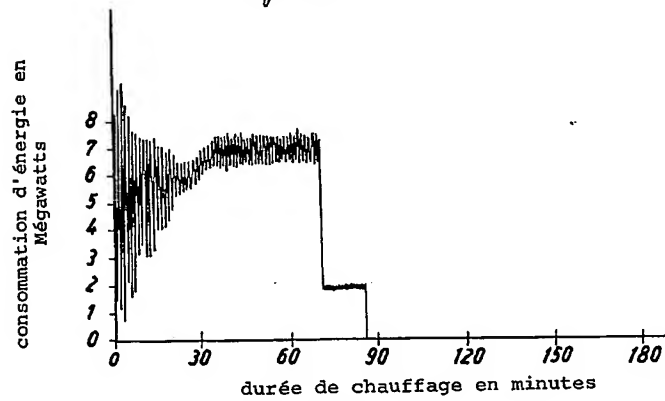


Fig. 7b

Metallgesellschaft Aktiengesellschaft,

The Steel Company of Canada Limited, Pickands Mather &amp; Co.

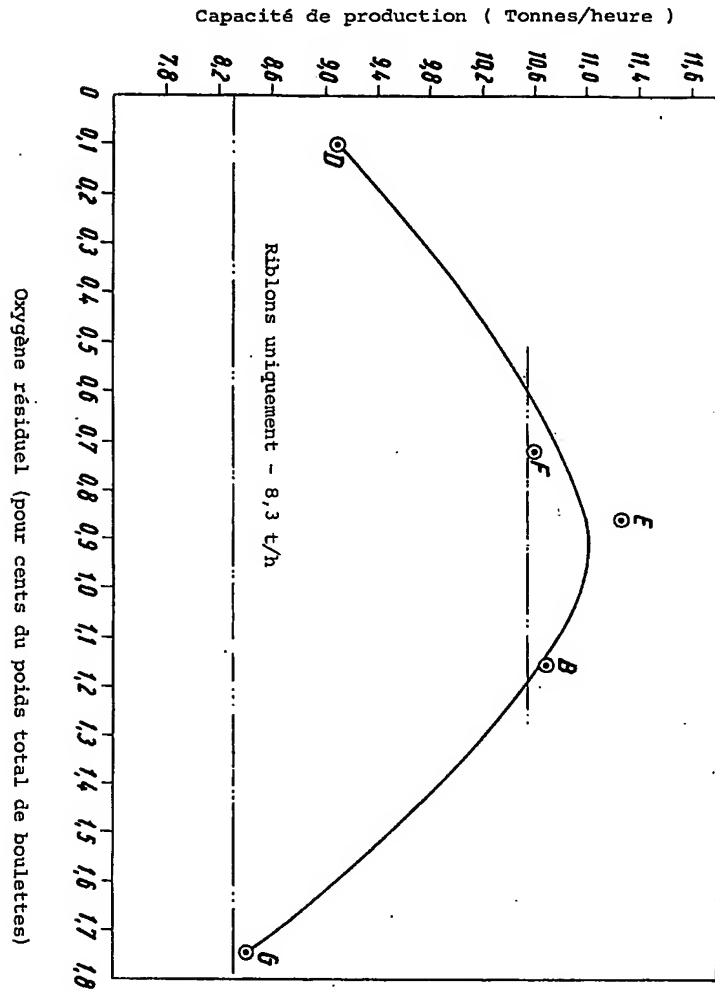


Fig. 8